智造新深蓝 海南立潮头

——把海南打造成为我国生物制造未来产业发展的战略支点

■ 黄写勤 梅永红

深度聚集

11月12日,第四届生物经济50人论坛将汇聚科学家、企业家、投资人和政策研究者,共同探讨生物经济发展新趋势、新技术与新路径。与论坛呼应,海南省海洋生物制造业创新中心(以下简称创新中心)同步设立。这标志着海南正在把论坛汇聚的前沿思想、创新资源和产业共识,转化为持续推动海洋生物制造业发展的平台支撑与长效动能。

为什么是海洋生物制造?为什么是海南?为什么是现在?

答案藏在三个相互交汇的坐标中:全球生命科学正由"认识生命"迈向"设计生命、用生命制造"的科技坐标,国家加快建设海洋强国、前瞻布局生物制造未来产业的战略坐标,以及海南自由贸易港向海而生、联通世界的地理与文明坐标。三个坐标在海南交汇,共同指向一个判断——发展海洋生物制造,既是抢占生物经济前沿的战略选择,也是海南把海洋资源、热带资源和开放优势转化为新质生产力的时代机遇。

从"读懂生命"到"用生命制造"

从发酵到抗生素、疫苗和工业酶,人类不断拓展生物制造的边界。今天,基因组学、合成生物学、人工智能与自动化工程加速融合,推动生物制造从经验走向设计、从实验室走向规模化,正在重塑医药、食品、农业、材料、化工与能源发展格局。

单细胞测序和宏基因组学帮助识别海洋微生物,人工智能辅助预测蛋白质结构、发现活性分子,基因编辑和精密发酵则加快"设计—构建—测试—学习"循环,使细胞成为可编程的"微型工厂",推动生命科学由读取信息迈向创造功能。

海洋覆盖地球表面约71%。深海的高压、低温、缺氧和黑暗环境,孕育了陆地少见的酶系、代谢通路和活性分子。海洋更蕴藏基因、菌种、酶和天然产物等"生命信息资源",可为开发创新药物、工业酶、功能食品、新材料和生态治理技术提供源头资源。

海洋生物制造用规范样本解析基因与代谢信息,再将有价值的功能导入底盘细胞或无细胞体系,通过发酵和生物转化稳定生产。它从"获取生物量"转向"解码生命信息",在保护优先前提下实现高值利用。

深海微生物如同亿万年演化形成的工程师,独特基因和极端酶可能成为未来产业的"钥匙"。读懂这些"设计图"并负责任地利用,正是海洋生物制造的科学价值。

生物经济与海洋强国战略的交汇点

生物制造已经从科技前沿进入国家战略主航道,海洋也从传统资源空间上升为支撑中国式现代化的战略要地。二者相遇,形成海洋生物制造这一兼具前沿性、战略性、绿色性和带动性的未来赛道。

国家"十五五"规划纲要明确提出,构建未来产业全链条培育体系,推动生物制造等成为新的经济增长点,并专章部署加强海洋开发利用保护,强调强化海洋战略科技力量、实施深海工程、壮大海洋生物医药等海洋新兴产业。生物制造与海洋经济由此形成耦合:既要向生命科学前沿要原创能力,也要向深蓝要资源、要空间、要新增长点。

培育发展未来产业,对于抢占科技和产业制高点、发展新质生产力、建设现代化产业体系具有重要意义。生物制造被列为"十五五"时期未来产业发展的主攻方向之一。习近平总书记强调,推进中国式现代化,必须高效开发利用海洋,推动海洋经济高质量发展。前瞻布局生物制造与推进海洋强国建设,正在共同回答一个重大命题:如何把自然禀赋、科技创新和现代化产业体系转化为助力国家发展的持久主动权。

打造海洋强国,海南当有所作为。2022年,习近平总书记在中国海洋大学三亚海洋研究院考察时强调,建设海洋强国是实现中华民族伟大复兴的重大战略任务。2024年,习近平总书记在听取海南省委和省政府工作汇报时要求海南,向海洋要生产力、求新增长点,建设海洋强省。殷切嘱托为海南从"认识海洋"走向"经略海洋"、从深海科研走向深海产业提供了根本遵循。

对海洋生物制造而言,自由贸易港的价值不仅在于市场通道,更在于汇聚全球人才、技术、设备、资本和数据,探索与国际高标准经贸规则相衔接的科研合作、成果转化和产业治理机制。

由此可见,海南发展海洋生物制造,承载着四重使命:以生命科学创新服务高水平科技自立自强,以海洋资源的科学认知和绿色利用服务海洋强国建设,以生物制造培育新质生产力和现代化产业体系,以自由贸易港制度创新服务更高水平对外开放。其意义不在于增加一个普通产业门类,而在于培育国家未来产业版图中不可替代的经略海洋的能力,发挥好战略支点作用。

读懂海南的"蓝色家底"

海南的底气,来自独特的海洋纵深和热带生态。作为我国唯一的热带岛屿省份,海南既是我国面向太平洋和印度洋的重要对外开放门户,也是陆地、海岸带、近海与深海生态系统相连的天然实验场。

海南陆域面积有3.5万多平方公里,受权管辖海域约200万平方公里,海南岛海岸线长1900多公里;从南山港出发约164公里即可抵达千米水深海域。广阔海域、漫长岸线和深海区位,构成海洋生物制造的空间基础。

海南拥有从热带雨林、红树林到珊瑚礁、海草床和万米深渊的生物多样性梯度。全省本土野生维管束植物4689种,其中海南特有种491种。热带植物、微生物、藻类和水生生物,为生物育种、天然产物和生物材料提供资源底盘。

红树林涵养碳汇、抵御风浪,珊瑚礁和海草床是众多海洋生物的家园。这些生态系统是研究极端适应、共生关系、活性物质和蓝碳过程的科学宝库。海洋生物制造必须建立在调查、监测和保护之上。

自古以来,海洋持续塑造海南的文化品格。崖州民歌等记录着海南先民耕海牧渔的经验。过去,渔民借星辰、季风和潮汐认识大海;今天,科学家借潜器、声呐、环境DNA和基因序列"读取"深海。海洋生物制造是海洋文明在科技时代的延伸。

从"探海"到"造物",海南已经起步

海南发展海洋生物制造,已有多年科技、平台和制度积累。目前形成三亚牵引深海科技和生命科学、海口支撑生物医药等产业集聚、多个市县拓展场景的基础。下一步,要着力把深海进入、样本采集和生命解析能力转化为工程与产业能力。

2011年,海南省、三亚市与中国科学院共建深海科学与工程研究所。此后,海南以崖州湾科技城高新区为承载区,集聚中国海洋大学三亚海洋研究院、三亚华大生命科学研究院、上海交通大学海南研究院等机构,推动深海科技、生命科学与南繁科技融合。

南山港成为国内首座公共科考船母港,2025年科考服务航次突破2000次。科考船、载人潜水器、海洋观测网及资源平台,支撑深海进入、持续观测和资源评价,使海南形成从样本采集、数据解析到活性筛选的能力链条。

2025年,国际学术期刊《细胞》发布"溟渊计划"成果,科研团队鉴定出7564种深渊原核微生物,其中89.4%为未报道新物种。深海成为生命科学"新大陆",其极端酶、天然产物和代谢机制有望为药物、材料、能源和环境技术提供新源头。

《海南省推动生物制造产业高质量发展行动方案(2025—2027年)》确定海南生物制造产业立体布局、发展方向,聚焦海洋生物制造和生物育种,形成"5+8+N"路径;明确到2027年,力争形成"双核两翼多点"产业空间布局,实现全省生物制造产业产值超百亿元。

海南围绕海洋菌种库、生物资源跨境中转、深海化合物筛选、概念验证和放大转化加强谋划。海南"十五五"海洋经济发展规划把创新中心列为重点项目。创新中心成为贯通省级部署、地方基础和产业需求的关键落子。由此形成清晰路径:实现从抵达深海到读懂深海,从拥有样本到形成数据和技术资产,再从发现生命功能到制造产品、培育产业。这是海南参与全球生物经济竞争的比较优势。

跨越实验室与生产线间的"海沟"

创新中心的价值,在于打通科研成果产业化最关键、最艰难的一段。它不是普通的实验室或产业园,而是贯通资源、技术、工程、资本、市场和规则的公共创新平台。

海洋生命科学成果转变为产品,要经过活性筛选、基因挖掘、工艺优化、放大验证、质量评价和注册审批。任何环节缺失,都可能使成果停留在论文或样品阶段。跨越产业化"死亡之谷",需要开放协同、长期运行的工程体系。

着眼国家所需、产业所缺和海南所长,创新中心可以重点构建四个枢纽。

一是资源枢纽。依托南海科考优势,建设可追溯的样本库、菌种库、基因资源库、酶库和化合物库,建立采样、鉴定、登记、安全评价和合规利用体系,把分散资源转化为可持续研究、可依法利用的战略资源底座。

二是技术枢纽。汇聚人工智能、合成生物学、酶工程和高通量筛选能力,建设"人工智能+生物制造"平台,围绕极端酶、创新药物、功能原料和生物基材料攻关,提高功能发现和自主知识产权产出效率。

三是工程枢纽。建设概念验证、小试、工艺开发和模块化放大平台,解决菌株表达、工艺放大、成本和质量一致性问题,形成可复制的工艺包、质量标准和生产规范。工程放大是连接科学与产业的核心能力。

四是制度枢纽。依托自贸港政策,探索科研样本、设备、人才、资金和数据安全有序流动,完善生物安全、遗传资源合规、知识产权、技术交易和产品标准体系,形成可推广的产业治理经验。

创新中心可推动科考样本在省内研究、科研成果在省内转化,吸引国内外团队来琼协同攻关;同时带动研发、检测、知识产权和科技金融等服务业发展,培育高附加值企业和岗位,使科技流量转化为产业增量。唯有如此,海南海洋生物制造才能从"有资源、有科研"迈向"有平台、有企业、有生态"。

为国家贡献不可替代的战略支点

海洋是资源宝库、生态屏障和安全空间,也是认识生命的前沿。海洋微生物、遗传资源和天然化合物的信息价值日益凸显。更早认识、更好保护并高效转化这些资源,就可能在新药、绿色制造和未来产业竞争中赢得先机。

海南可以建设深海生命资源认知与保护基地、海洋合成生物学原创策源地、海洋生物制造放大和标准验证平台;并依托自贸港政策优势,拓展面向东南亚和全球热带海洋国家的联合研究、技术转移与人才合作。

海南可形成省域协同格局。三亚侧重原始创新和产品孵化,海口发挥生物医药研发制造优势,儋州、洋浦承接规模生产,琼海、乐城联动医疗应用,其他市县拓展农业、养殖和生态治理场景,构建"深海发现—协同研发—全省转化—国内国际市场"的产业链。

海南还能探索未来产业治理经验。海洋遗传资源的合规获取、惠益分享和开发边界,既是科技命题,也是全球治理命题。海南自由贸易港可在开放中完善规则,在创新中守住生物安全和生态安全底线,为全球海洋治理提供中国经验。

向海图强,既要抵达和探测深海,也要认识深海生命、保护深海生态,并转化为药物、食品、材料和绿色技术。海南要贡献的,是从资源调查、原始创新到工程转化、产业培育和国际合作的完整能力。海南要做中国海洋生物制造的"蓝色发动机"。

当前,生命科学正进入工程化、智能化阶段,生物制造成为"十五五"时期一大主攻方向,海南可以创新中心为支点,把海洋、热带和开放优势转化为原创、工程与产业优势。

(作者黄写勤系深圳市华谷致远生物科技与产业研究院特约研究员,作者梅永红系深圳市华谷致远生物科技与产业研究院理事长)

厚植海南农业发展的数字沃土

■ 程梓恒 吴崇萍

打造国家热带现代农业基地、建设全球热带农业中心,加快建设"南繁硅谷",筑牢国家粮食安全防线,是海南必须扛起的重大国家使命。依托得天独厚的热带资源、自贸港政策红利、跨境流通优势与日臻完善的数字基础设施,海南要紧扣需求牵引、改革攻坚、科技赋能、开放合作主线,推动数字技术贯通农业生产、经营、管理、服务全链条,以专业化服务畅通小农户融入现代农业的渠道,以制度型开放对接国内国际两个市场,着力培育农业领域的"中国服务"品牌。加快推动传统热带种养农业向数字智慧、服务集约、全域开放转型,既是海南做强热带特色高效产业、壮大农业新质生产力的必由之路,更是激活自贸港发展动能、培育新的经济增长极的战略抉择。

把握时代大势

当今世界,农业发展迈入数字化、智能化、品牌化、全球化并行的新阶段。发展数字农业、智慧农业、农业社会化服务,已成为农业现代化转型的主流方向。海南作为我国重要的冬季瓜菜生产、南繁育制种、天然橡胶生产等基地,在保障全国热带农产品供给、守护国家种质资源安全方面,地位特殊、使命艰巨。

海南发展外向型热带特色高效农业具有多重优势:得天独厚的光热水土资源,自贸港政策优势,全球动植物种质资源引进中转跨境通道,叠加"海南鲜品"区域公用品牌的市场影响力,为数字农业、开放农业发展筑牢支撑。随着自贸港建设深入推进,智慧种业、跨境农产品贸易、农村电商等新业态蓬勃兴起,为热带农业高质量发展注入活水。

也要清醒认识到,资源与政策优势尚未完全转化为行业竞争优势,发展短板依然突出:农业数字化根基偏弱,数字技术覆盖面不广、融合程度不深;农业社会化服务体系不健全,服务主体偏弱、业态单一,供需适配度不足;人才储备短缺;农业产业链偏短、产品附加值偏低,对外合作层次不高。以数字赋能为引擎、服务升级为纽带、开放合作为抓手,打造农业领域"中国服务"标杆,是推动海南热带农业迈向高端化、集约化、国际化的关键一招。

深挖多元价值

数字赋能提质增效,守牢农产品质量安全底线。数字化转型是提升农业综合效益、保障产品安全、擦亮特色品牌的基础工程。海南积极推广物联网环境监测、AI病虫害预警、无人机植保等智慧装备与技术;运用区块链技术搭建"一品一码"全程溯源体系;依托规模化、专业化农业社会化服务推进集约经营,有效降低生产经营成本、提升产业效益,持续带动农户稳定增收。

数产融合培育业态,激活乡村振兴内生动力。数字化落地催生智慧育种、数字农场、智能养殖等业态,提升农业附加值。依托综合数字平台整合生产、加工、流通、金融、保险等要素,破解农业融资难、销路窄、风险高等难题,持续增强农业产业链供应链韧性,构建全要素联动、全链条协同的现代农业发展形态。

服务开放链接全球,放大自贸港独特区位优势。打造优质农业服务是建设国际热带农业枢纽、打造农业"中国服务"品牌、释放自贸港开放价值的重要支撑。立足制度型开放先行优势,搭建国际热带农业数字服务、种质资源交流、农产品跨境贸易三大平台,集聚全球先进农业技术、优质资本与高端人才。加快农业服务标准化、品牌化、国际化建设,打造可复制、可推广的农业服务示范样板。持续强化数字技术对"南繁硅谷"的赋能保障,服务国家种业振兴战略,提升全球话语权。

以数智技术和服务升级赋能农业发展

完善服务体系,提升农业全链条专业化水平。构建政府引导、市场主导、社会参与的现代农业社会化服务体系,优化"省级平台—市县中心—乡镇站点—村级服务点"四级服务网络。扶持壮大农机服务、绿色植保、冷链物流、品牌运营等经营主体,提供农资供应、技术指导、农机作业、质量检测、品牌运营、金融保险等一站式服务。推进农业服务标准化、规范化建设,健全服务清单与质量评价机制,推动农业服务从"有"向"优"转变。

深化数产融合,壮大农业发展新增长点。以改革创新为牵引,多点发力推进"数字+农业"融合发展。做强"数字+南繁育种",搭建智能化育种平台。做优"数字+特色种养",建成一批数字农场、智慧果园、智能养殖场。做大"数字+流通贸易",大力发展线上线下融合、产地直供、订单农业等新模式。创新"数字+农业金融",依托大数据发展信用贷款、特色农险、供应链金融,破解农业融资堵点。

夯实数字底座,夯实智慧农业发展硬支撑。强化科技赋能,加快农业领域新型数字基础设施布局,织密全域感知、动态监测的农业物联网体系。破除行业数据壁垒,统筹整合气象、土壤、水文、病虫害、农产品价格等数据资源,建成省级热带农业大数据平台。推动数字服务下沉乡村,常态化开展数字技能培训,普及智能设备操作、电商运营、溯源管理等实用技能,逐步缩小城乡数字鸿沟。

放大开放优势,深化多层次国际农业合作。立足自贸港开放定位,对接国际通行规则,积极引进境外优良品种、先进技术、高端设备和成熟管理经验。做强全球动植物种质资源引进中转基地,全力保障国家种业安全。搭建平台吸引境外农业机构、龙头企业落地兴业,大力发展跨境农业电商、农业数字服务贸易。持续做强"海南鲜品"品牌,推动优质农产品、特色农业服务双向出海,不断提升海南自贸港的农业开放能级与综合竞争力。

【作者程梓恒单位为海南省社会科学界联合会,作者吴崇萍单位为海南科技职业大学;本文系海南省哲学社会科学规划课题(课题编号:HNSK(ZC)26-261)研究成果】

实践新论

以制度型金融开放赋能海南自贸港高质量发展

■ 张金林

发展建言

当前,全球政治经济格局深度调整,地缘冲突、供应链重构与"经济安全化"趋势凸显。我国坚定不移推进制度型开放,以制度创新深度参与全球经济治理。全岛封关后的海南自贸港,站上高水平开放的新起点,成为我国金融开放"压力测试场"与示范窗口。以制度型金融开放赋能高质量发展,既是海南自贸港建设重要举措,也是践行金融强国战略的重要实践。

发展导向与实践特色

中央金融工作会议提出"坚持统筹金融开放和安全"划定安全底线,党的二十届四中全会提出"加快建设金融强国""稳步扩大制度型开放"明确战略方向,共同构筑"服务实体经济、以人民为中心"的实施框架。制度型金融开放是要素流动型开放的高阶形态,核心在于推动金融规则、规制、管理、标准与CPTPP、DEPA等国际经贸规则深度衔接,聚焦"边境后"公平竞争,涵盖"规则对接、系统集成、法治保障、风险可控"四大维度,高度契合海南自贸港国家战略。

海南实践彰显鲜明中国特色:坚持统筹开放与安全,以"'一线'放开、'二线'管住"衔接国内国际双循环。实践中形成双向实施路径:以跨境服务贸易负面清单、金融服务业"非禁即入"放宽市场准入;依托EF账户"电子围网"构建宏观审慎的全链条风控体系,实现"有效市场与有为政府"统一,打造"制度韧性—发展效能—安全底线"三位一体开放范式,为全国提供可复制经验。

范式升级与要素集聚

制度型金融开放推动海南实现开放范式跃升。开放焦点从外资持股比例等显性准入,转向跨境数据流动等"边境后"规则对接;开放路径从单一准入放宽,转向全流程规则协同;开放定位从被动适应规则,转向主动参与全球金融治理。以海南自由贸易港法为法治保障,海南搭建"负面清单+非禁即入"制度体系,推出EF账户、QFLP、QDLP等20余项创新政策,营造稳定可预期的制度环境。截至2025年底,海南制度集成创新案例累计173项,其中涉及金融领域47项,12项纳入全国复制推广清单。

制度创新加速全球高端要素集聚,激活发展动能:资本方面,EF账户实现本外币一体化运行,2025年末开户810个、业务量3509亿元,覆盖91个国家和地区;QFLP、QDLP试点双向跨境资金流动;2025年全省跨境人民币结算5514.4亿元,跨境收支1154亿美元,资金流动自由便利水平显著提升。人才方面,"百万人才进海南"行动计划、15%个税优惠与香港执业资格认可形成引才合力。数据方面,探索"数据保税"模式,试点外资独资IDC业务,保障数据要素合规高效流动。

产业赋能与价值转化

制度型金融开放坚守服务实体经济本源,通过要素配置、产业升级、区域协同三大机制,推动"科技、产业、金融"深度融合。

重点产业精准赋能。聚焦金融"五篇大文章",以科技信贷、跨境知识产权质押融资有效破解科创企业融资难题,2025年10月末海南绿色贷款增长25.4%,科技、普惠贷款分别增长9.2%、9.8%;航运金融与蓝色金融成效突出;加工增值内销免关税政策惠及129家企业,内销货值超110亿元,实现降本增效与产业集聚双赢。

发展协同效应凸显。200亿元自贸港基金撬动社会资本128.37亿元;江东新区、三亚中央商务区集聚大量企业与总部机构;封关首月离岛免税消费大幅增长。琼港金融合作持续深化,东盟经贸合作与人民币结算规模稳步扩大,自贸港双循环枢纽功能不断增强。

路径协同与风险防控

全岛封关后,海南金融开放进入新阶段,应推动四大突破:深化数字人民币跨境应用,探索多边央行数字货币桥建设;对接国际标准,推动碳交易与绿色金融产品做强做优;提升投资额度、丰富产品种类,打造一体化财富管理生态圈;深化区域金融协同发展,拓展供应链金融业务,推动与东盟地区以人民币计价结算的合作。

构建四维协同体系。规则上,缩减跨境服务贸易负面清单,深度对接CPTPP、DEPA规则;政策上,推动EF账户与零关税、加工增值免关税政策衔接;监管上,建立多部门联动机制,搭建统一监管科技平台,强化穿透式监管;人才上,优化个税与配套服务,集聚国际化金融人才。

打造"数据—机制—技术—制度"四重防控体系。依托EF账户整合多部门数据与智能技术,实现跨境资金穿透式监测与风险预警;建立跨境监管联防联控,推行"负面清单+行为监管"双轨制与动态熔断机制;完善金融法治,建设专业领域纠纷解决机制,确保"放得开、管得住"。

海南自贸港制度型金融开放,是中国特色金融发展道路的生动实践,以制度创新统筹开放与安全,将制度优势转化为高质量发展动能。新征程上,海南需持续深化规则对接、要素集聚、产业赋能与风险防控,为自贸港提质增效赋能,为我国推进制度型金融开放、建设金融强国提供海南方案,彰显中国式现代化的开放内涵与发展活力。

【作者系海南大学国际商学院教授、博士生导师,国务院政府特殊津贴专家。本文系国家社科基金重大项目《推进共同富裕的金融理论逻辑与有效机制研究》(22&ZD115)阶段性研究成果】